

# Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ

RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.<sup>1</sup>; GASPARI, F.<sup>1</sup>; SENISTERRA, G.<sup>1</sup>; DELGADO, M.I.<sup>1,2</sup>; BESTEIRO, S.<sup>2</sup>.

## RESUMEN

La restauración agro-hidrológica engloba, en un plan unificado de acción, la problemática común a suelos, agua y vegetación de las cuencas hidrográficas, conduciendo a un auténtico proceso de ordenación de los recursos naturales. Los efectos de la restauración agro-hidrológica se pueden evaluar mediante modelización matemática con la herramienta GeoQ. Ésta permite estimar la respuesta hidrológica según se asocie a posibles cambios producidos por medidas de conservación de suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la restauración agro-hidrológica en el área serrana de la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ. Este modelo generó como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escorrentía, basado en el método de Número de Curva a partir de tres archivos vectoriales (límite de cuenca hidrográfica, zonificación del suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y/o uso del suelo) y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar. GeoQ expresó para la situación actual, láminas de escorrentía leves (menores a 10mm) abarcando un 91,9% de la cuenca, y láminas medias (entre 10 y 20 mm) con una superficie del 8,1%. La situación simulada expresó que el 99,9% de la cuenca generó láminas de escorrentía leves, implicando un aumento del 8% de superficie respecto a la condición actual. El presente trabajo permitió establecer el potencial efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica propuestas, para la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande, tomando como referencia la situación actual.

**Palabras clave:** restauración agro-hidrológica, GeoQ, Cuenca serrana.

## ABSTRACT

*Agrohydrologic restoration involves, in a unified plan of action, the problematic concerning to soil, water and vegetation of the watersheds, guiding to an authentic process of management for natural resources. The effects of agrohydrologic restoration can be evaluated by mathematical modelization with the GeoQ tool, which allows estimating the hydrologic behavior associated to changes in the applied conservation measures. The aim of this work was to evaluate the effect of the agrohydrologic restoration in the hilly area of the watershed of the Pillahuinco Grande Creek, applying the hydrologic model GeoQ. This model generated a final map of geospatial distribution of runoff, based on the Curve Number method, using three vector files (limit of watershed, hydrologic groups of soils, and land use) and an attribute value file with the information of the storm to be modeled. GeoQ expressed for the present situation, low levels of runoff (lower than 10 mm) covering the 91.9 % of the watershed, and an intermediate level (between 10 and 20 mm) in the rest of the watershed. The*

<sup>1</sup>Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. Diagonal 113 N.º 469. La Plata, Buenos Aires. Correo electrónico: cuencas@agro.unlp.edu.ar

<sup>2</sup>Becario de Postgrado. CONICET.

*simulated situation expressed that 99.9 % of the watershed generated low levels of runoff, with an increment of 8 % of surface compared with the present situation. This work allowed us to establish the potential effect of the proposed agrohydrologic restoration measures over superficial runoff, for the hilly watershed of the Pillahuinco Grande Creek, considering the present situation as the reference level.*

**Keywords:** agrohydrologic restoration, GeoQ, hilly watershed.

## INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los recursos naturales origina problemas que afectan seriamente la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios y finalmente repercuten a mediano y largo plazo en la calidad de vida de los habitantes.

La experiencia de gran cantidad de personas en todo el mundo, que desde hace años ha trabajado en encontrar soluciones a estos inconvenientes, ha demostrado que el enfoque más preciso para comprender y resolver dichas dificultades es tomando como unidad de gestión el "sistema cuenca" (García Nájera, 1962; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para las múltiples actividades humanas, como agua, suelo, vegetación y fauna. Todos mantienen una continua y particular interacción entre ellos y con los aprovechamientos y los desarrollos productivos del hombre (FAO, 1988).

Históricamente, la región pampeana maneja los excesos hídricos a través de la implementación de obras de saneamiento y/o canalización, éstas comprenden el dragado de canales, ríos y arroyos, la construcción de canales que desvían los cursos de agua o drenan el agua de áreas anegables, y una red de canales secundarios y prediales construidos por propietarios con el fin de evacuar el agua de terrenos inundables hacia la red de drenaje artificial o natural existente. En relación a este tipo de prácticas, F. Ameghino (1884), escribió "(...)he permanecido frío y pensativo, reflexionando sobre las ventajas y desventajas que reportarían los canales de desagüe y me he confirmado más en mi opinión que si ellos no son el complemento de obras más eficaces y de mayor consideración, reportarán probablemente más perjuicios que beneficios".

Los recursos de los que dispone el hombre para paliar la degradación ambiental se pueden llevar a cabo por medio de proyectos de restauración agro-hidrológica en cuencas hidrográficas. El término "agro-hidrológico" se interpreta como un vocablo aglutinador de todas las acciones a realizar, tanto de carácter forestal como las prácticas agrícolas, habituales en las superficies vertientes de la cuenca, así

como las medidas en los cauces de evacuación de los flujos de avenida (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). La restauración agro-hidrológica trata de englobar, en un plan unificado de acción, la problemática común a suelos, agua y vegetación de las cuencas conduciendo a un auténtico proceso de ordenación.

Los objetivos generales de la ordenación agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica y de su posterior restauración hidrológico-forestal se centran en el uso racional de los recursos que dispone, fundamentalmente, el suelo y el agua (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 1994).

Las actuaciones en la cuenca hidrográfica pueden sintetizarse en dos líneas, totalmente compatibles y, en cierta medida, complementarias. Estas son, la utilización racional de las áreas de cultivo (que cubren las zonas de menores pendientes y suelos más fértiles) y el establecimiento de una cubierta vegetal protectora en el resto del territorio que puede adquirir distintas formas tales como praderas, landas, áreas de matorral o monte bajo y finalmente zonas de bosque, bien sean de repoblación o naturales (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

Las prácticas de restauración agro-hidrológica poseen una fuerte vinculación con la conservación y recuperación de suelos. Bajo este ámbito, cualquier proyecto desarrollado en la Provincia de Buenos Aires, se enmarca en la Ley de fomento de la conservación de suelos (N.º 9.867/82) del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (1982).

Para el estudio de la implementación y restauración agro-hidrológica se seleccionó la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande (25.132 ha), ubicada en el partido de Coronel Pringles, provincia de Buenos Aires (figura 1). Las características particulares de suelo, vegetación y topografía, ligados al uso del territorio poseen una gran influencia sobre los caudales que circulan por el cauce, ya que determinan que gran parte de la precipitación pluvial se transforme en escorrentía. Como resultado de ello, se producen grandes volúmenes de escorrentía superficial, asociados a bajos tiempos de concentración, que originan caudales pico de gran magnitud (Gaspari y Senisterra, 2006; Gaspari *et al.*, 2007). En el corto plazo, estos excesos generan inundaciones en la parte media y baja de la cuenca. En el largo plazo se produce la disminución del potencial productivo, tanto de la cabecera, por erosión hídrica superficial,

como de las partes bajas por desbordes del cauce y depósitos de sedimentos.

Los efectos de la restauración agro-hidrológica a nivel geoespacial, permiten ser evaluados mediante la modelización matemática con la herramienta de procesamiento digital de información georeferenciada GeoQ. Éste genera mapas intermedios permanentes, necesarios como archivos de entrada durante las múltiples secuencias para la obtención de la zonificación de la escorrentía superficial en la cuenca. La secuencia del procesamiento, bajo el entorno gráfico de pasos múltiples incluye conversión de archivos vectoriales a raster, asignación automática de valores, operaciones matemáticas entre mapas y reclasificación de categorías para el procedimiento interconectado dinámico. La herramienta GeoQ se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas y proyectos ambientales, sociales e hidrológicos; para estimar descargas, y para predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios, por ejemplo, medidas de conservación de suelo que induce a modificaciones sobre la topografía, cubierta vegetal, grado de ocupación del terreno y/o desarrollo de una urbanización. (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la restauración agro-hidrológica en el área serrana de la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ y evaluar la potencialidad de dicha herramienta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se basó en evaluar el efecto de la aplicación de medidas de restauración agro-hidrológicas en la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande, en la zona se-

rrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina, por medio de la cuantificación de la escorrentía superficial.

Según Mark y Marek (2009), las pérdidas por infiltración-escorrentía dependen fundamentalmente de las características de suelo y del uso de la tierra representada por la cobertura vegetal. Para ello, el método utiliza la combinación de las condiciones de suelo y uso para asignar factores de escorrentía conocidos como Número de Curva (NC).

La zonificación y la comparación de la lámina de escorrentía actual y la simulada por la aplicación de medidas de restauración, se realizó en entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) a través del modelador de procesamiento GeoQ para Idrisi Andes®. GeoQ genera como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escorrentía, en milímetros, basado en el método de NC (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). El uso del método de número de curva todavía es apropiado para aplicaciones que simulan caudales y procesos de generación modelados con datos de fuente no puntual. El modelado hidrológico espacialmente distribuido tiene un alto potencial en el logro de este objetivo (Garen & Moore, 2007).

El NC, elaborado por el Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos (1964), es un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente (Chow *et al.*, 1994; López Cadenas de Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). El método se basa en que las combinaciones suelo-vegetación de características semejantes, responderán de manera análoga bajo el efecto de una tormenta de intensidad variable. A mayor valor de NC, las condiciones de escurrimiento son más críticas (Gaspari *et al.*, 2009).

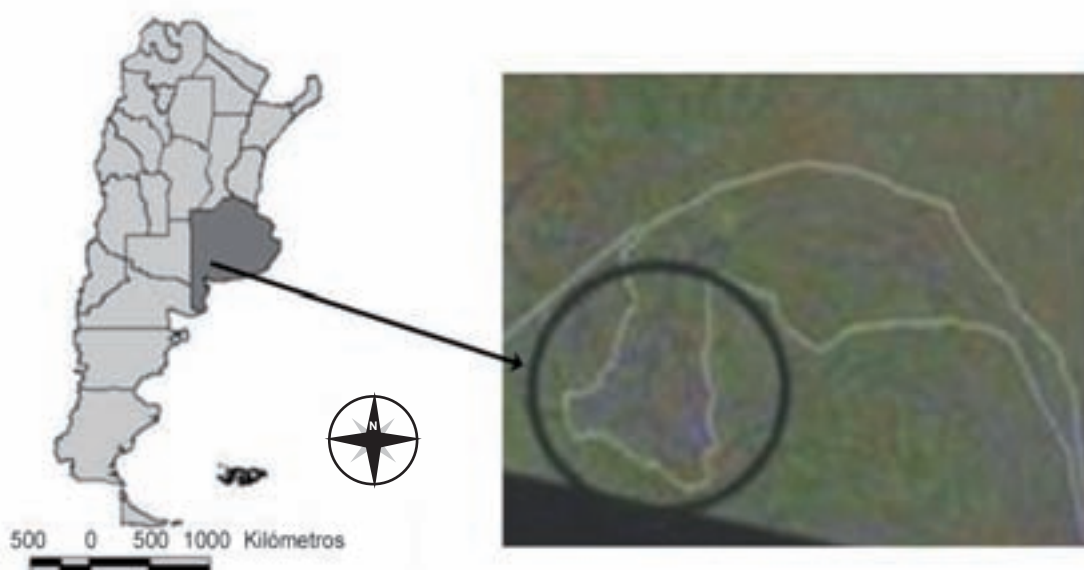


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Provincia de Buenos Aires.

La escorrentía (Q) se calcula a partir de la fórmula 1.

$$Q = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

**Fórmula 1.** Lámina de escorrentía Q (mm)

Donde el valor S representa la retención máxima en mm de la precipitación absorbida (P), obtenido a partir del valor del NC tabulado por el SCS (1964), aplicando la fórmula 2.

$$S = 254 \left( \frac{100}{NC} - 1 \right)$$

**Fórmula 2.** Retención potencial máxima (S) según el método del NC del SCS.

En el presente estudio se utilizaron NC adaptados según uso y cobertura vegetal de diferentes autores (Chow *et al.*, 1994; López Cadenas de Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990; Gaspari *et al.*, 2009; Mark y Marek, 2009; Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). La humedad antecedente del suelo considerada en este trabajo fue la correspondiente a la condición II.

El procesamiento geoespacial para el cálculo de la escorrentía a través de GeoQ, requirió de tres archivos vectoriales de tipo polígono (límite de cuenca hidrográfica, zonificación del suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y/o uso del suelo) y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar.

Esta cartografía de datos de vegetación y uso del suelo surgió de un relevamiento *in situ* con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM (enero de 2007) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth ® y

un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Los datos fueron procesados y clasificados en categorías según diferentes autores. El mapa de suelos definió los grupos hidrológicos (GH) de la cuenca. A partir de la cartografía de vegetación y uso del suelo combinado con GH, se establecieron los NC en las diferentes zonas de la cuenca.

La tormenta modal utilizada para la zonificación de la escorrentía está representada por una lámina total de 37,1 mm con un período de retorno de un año obtenida de datos pluviográficos medidos en la Estación Meteorológica Nacional de Coronel Pringles en el período 1911 a 2006.

A partir del análisis de la respuesta hidrológica en la condición ambiental actual con GeoQ, se asignaron medidas de restauración agro-hidrológicas, coherentes con el tipo de producción y tendientes a disminuir la escorrentía potencial superficial (Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto). Con esta cartografía se modelizó nuevamente con GeoQ obteniendo el potencial escurrimiento superficial en la cuenca para la condición restaurada.

La propuesta agro-hidrológica obtenida a partir de la asignación de nuevos usos del suelo se basó en una combinación multicriterio geoespacial. Sobre esta base, se creó una tabla de triple entrada (tabla 1), estableciendo medidas de restauración agro-hidrológicas diferentes para cada combinación.

La vegetación y uso del suelo actual se utilizó bajo dos criterios: respetar los límites de producción agrícola, proponiendo métodos de labranza conservacionista sin modificar el tipo de cobertura en aquellos casos que las pendientes menores del 3% y determinar áreas con coberturas que favorecen la intercepción, como ser bosques y pajonales serranos a fin de mantenerlas.

Las propuestas intentan conservar la biodiversidad natural del ambiente, preservando el pastizal serrano con la

|     |        | Rango de pendiente (%) |         |       |        |         |      |
|-----|--------|------------------------|---------|-------|--------|---------|------|
|     |        | 0 - 0,5                | 0,5 - 3 | 3 - 5 | 5 - 15 | 15 - 30 | > 30 |
| GHB | PP     | PP                     |         |       |        |         | BB   |
|     | MC>75% | MC>75%                 |         |       |        |         |      |
|     | BB     | BB                     |         |       |        |         |      |
|     | CTB    |                        |         |       |        |         |      |
|     | RB     | RB                     | CB      |       |        | CTB     | BB   |
|     |        |                        |         |       |        |         |      |
| GHC | PP     | PP                     |         |       |        | BB      |      |
|     | MC>75% | MC>75%                 |         |       |        |         |      |
|     | BB     | BB                     |         |       |        |         |      |
|     | CTB    |                        |         |       |        |         |      |
|     | RB     | RB                     | CB      |       | CTB    | BB      |      |

**Tabla 1.** Usos propuestos en función de Pendiente, GH, y Vegetación y uso del suelo actual (VUActual).

**Referencias:** PP: Prados permanentes; MC>75%: Matorral, mezcla matorral y maleza con cubierta >75%; BB: Bosques; CB: Cultivo alineado (en curvas de nivel); RB: Cultivos alineados (sin curvas de nivel); CTB: Cultivos alineados en terraza.

mayor superficie posible (PP) y las zonas con matorral con mezcla de malezas (MC>75%). Sólo se plantea su reemplazo en aquellos casos donde las altas pendientes y los tipos de suelos generan condiciones de escurrimiento excesivamente altas.

Sobre la base de los criterios citados, las medidas de restauración propuestas se describen a continuación:

En áreas con altas pendientes, donde el ganado bovino tiene acceso limitado, y potenciales de escurrimiento alto, se propone la implantación de especies forestales formando bosques protectores, es decir, masas forestales (BB) con el fin único de favorecer la intercepción de la lluvia y disminuir el escurrimiento superficial.

En suelos destinados a algún tipo de cultivo, las medidas propuestas fueron dos: en pendientes suaves o moderadas, las labores realizadas deben practicarse siguiendo las curvas de nivel (CB); cuando las pendientes sean mayores, se sugiere el uso de terrazas para realizar el cultivo de dichas áreas (CTB). En áreas con pendiente menores al 3% y dependiendo del GH, se mantiene el cultivo alineado sin implementación de medidas conservacionistas (RB).

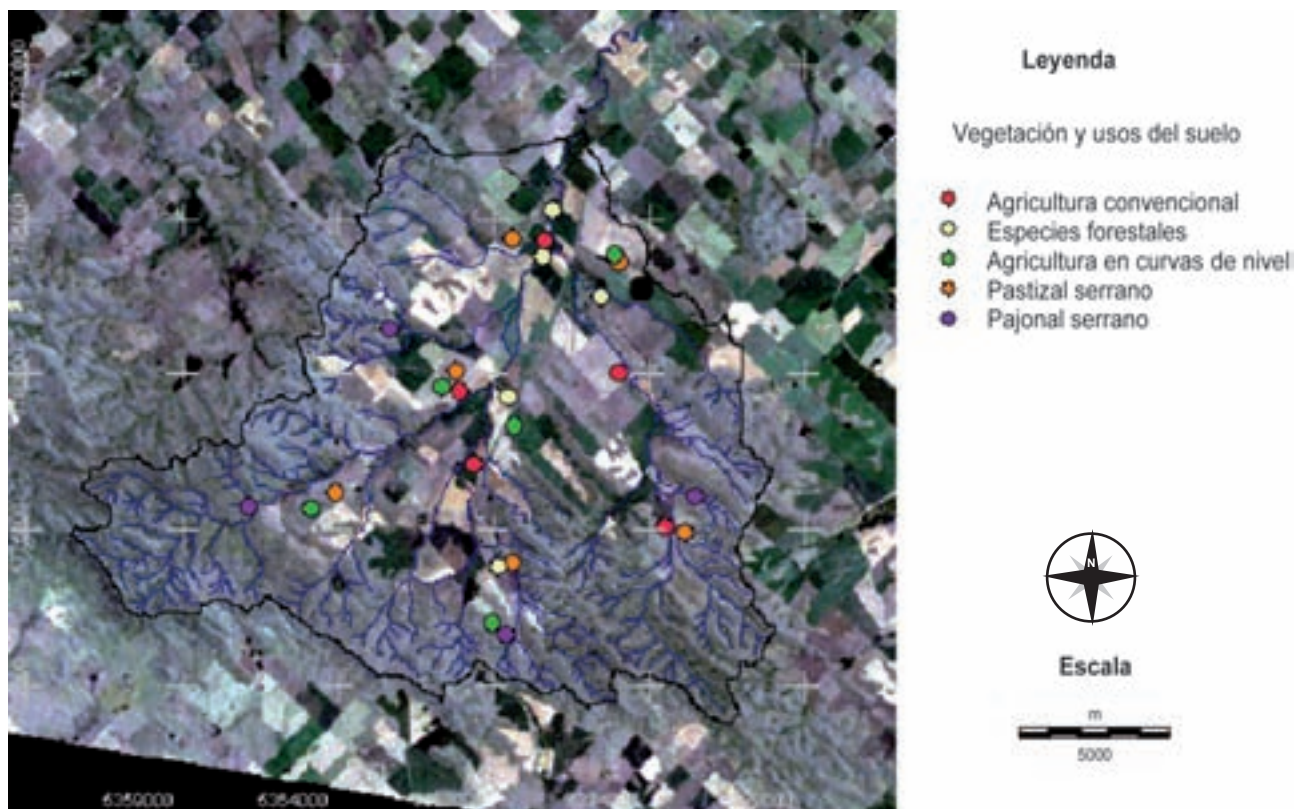
Esta combinación representó el potencial de escurrimiento, donde mayores pendientes, suelos de textura más fina o con limitaciones a la infiltración y vegetaciones poco densas poseen escurrimientos potenciales altos (tabla 1). Los colores representados en dicha tabla, se corresponden con la leyenda de la cartografía.

## RESULTADOS

Se realizó la recolección de datos de cobertura vegetal en 25 puntos, identificados y georreferenciados previamente en una imagen satelital del área (figura 2). Se identificaron especies forestales, cultivos anuales y verdes con labranza convencional o en curvas de nivel, pajonales y pastizales naturales. Las especies forestales identificadas fueron: Acacia blanca, Eucaliptos, Sauces y Pinos. Dentro de los cultivos y verdes se encontraron: Maíz, Girasol, Soja, Trigo y Avena. El pastizal serrano se representa por los géneros *Stipa*, *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza* (Frangi y Bottino, 1994). El pajonal serrano se compone exclusivamente de Paja colorada (*Paspalum quadrifarium*), ubicado en barrancas bajas muy húmedas, de los bordes de cursos de agua serranos, a veces formando una franja marginal estrecha, paralela al cauce. En otros casos ocupa superficies extensas, sobre suelos en general profundos, húmedos ligados a vertientes en concavidades y pendientes serranas suaves (3 a 11%), y abanicos aluviales.

En función de los datos relevados se confeccionaron cinco clases de vegetación y usos del suelo adaptadas a las categorías utilizadas por GeoQ en la generación del NC actual. A continuación, se expone la descripción de cada categoría:

- Bosques (BB): Incluye áreas con especies forestales, principalmente formando montes de reparo o cortinas rompe viento.



**Figura 2.** Distribución de puntos de muestreo de cobertura vegetal.

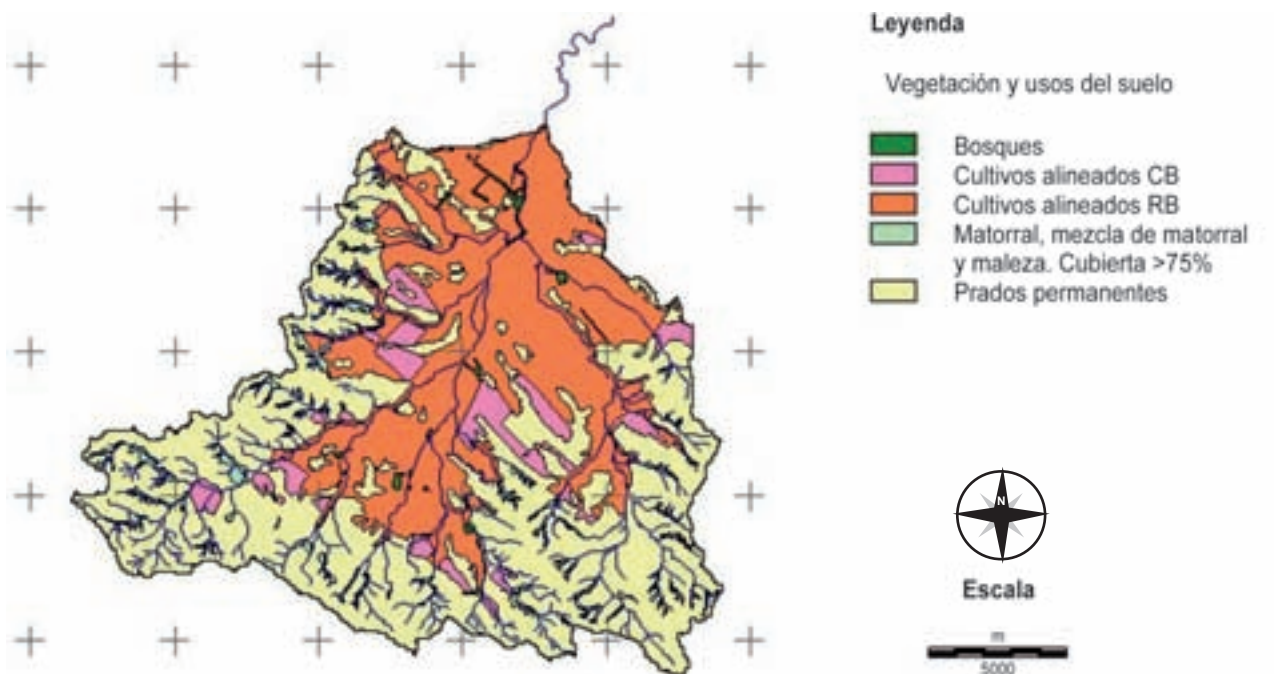


Figura 3. Mapa de vegetación y usos del suelo.

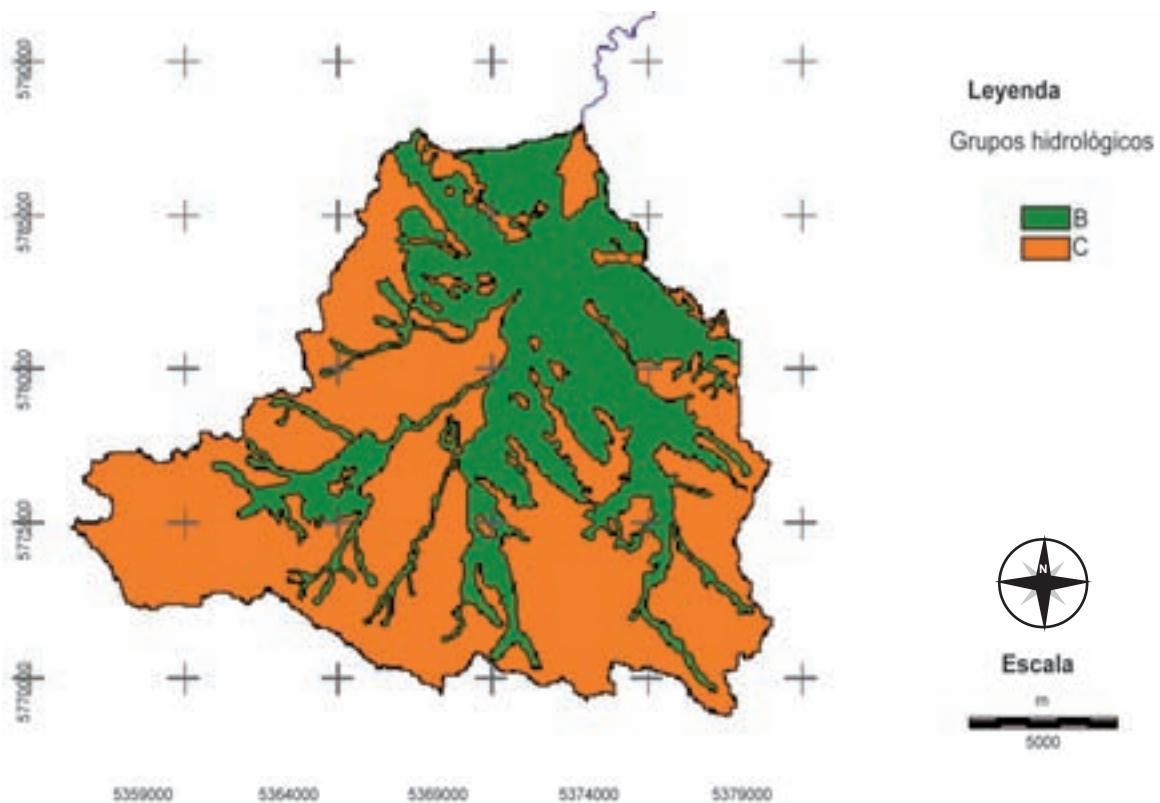


Figura 4. Mapa de grupos hidrológicos.

- Cultivos alineados (RB): Conformado por cultivos anuales de grano fino y grueso, o verdeos de verano e invierno con labranza convencional o en siembra directa.
- Cultivos alineados (CB): Representados por cultivos anuales de grano fino y grueso o verdeos de verano e invierno con labranza en curvas de nivel.

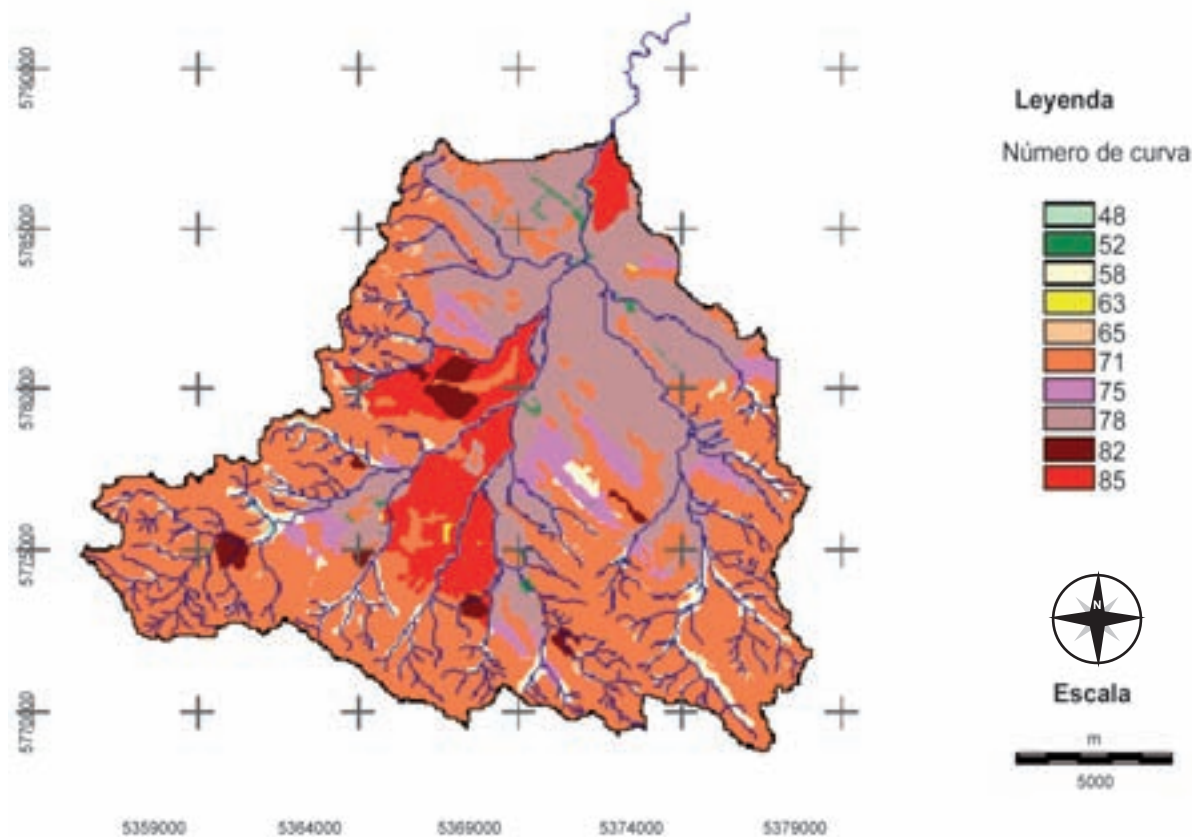


Figura 5. Mapa de número de curva.

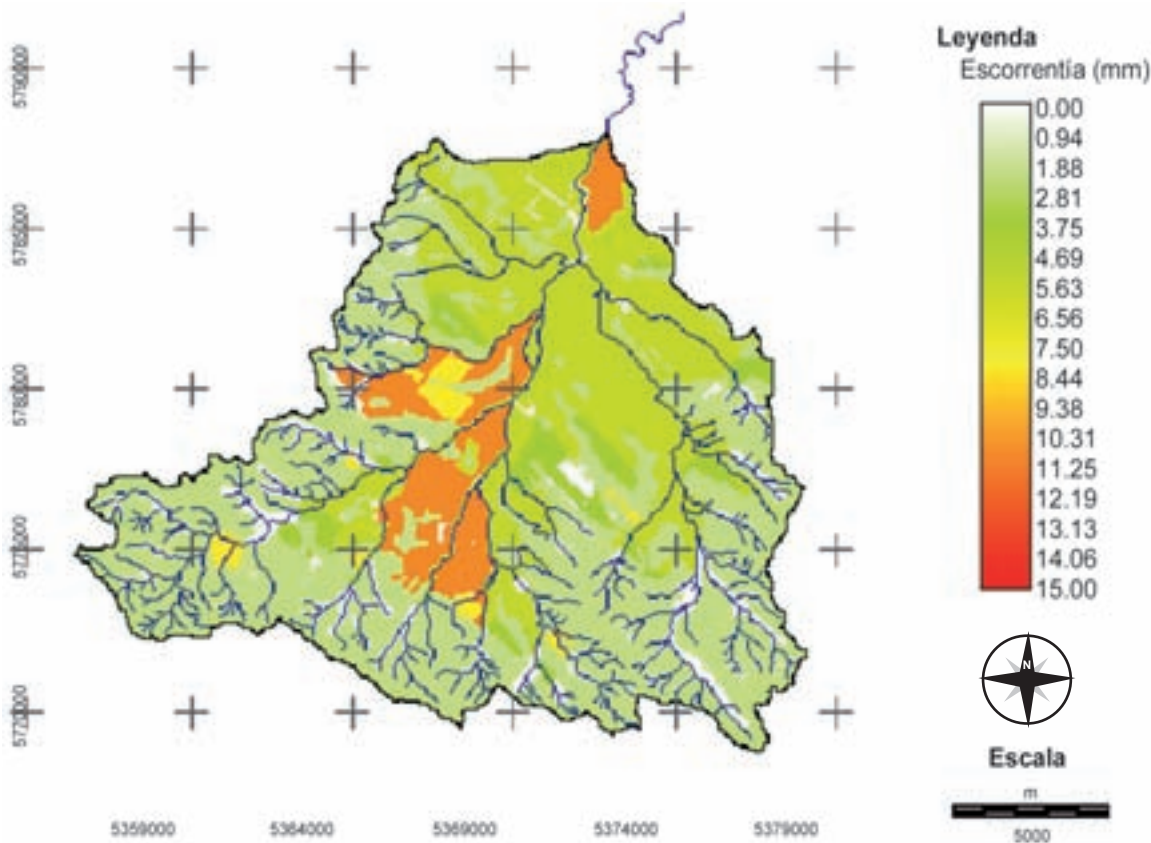


Figura 6. Zonificación de la lámina de escorrentía (mm).

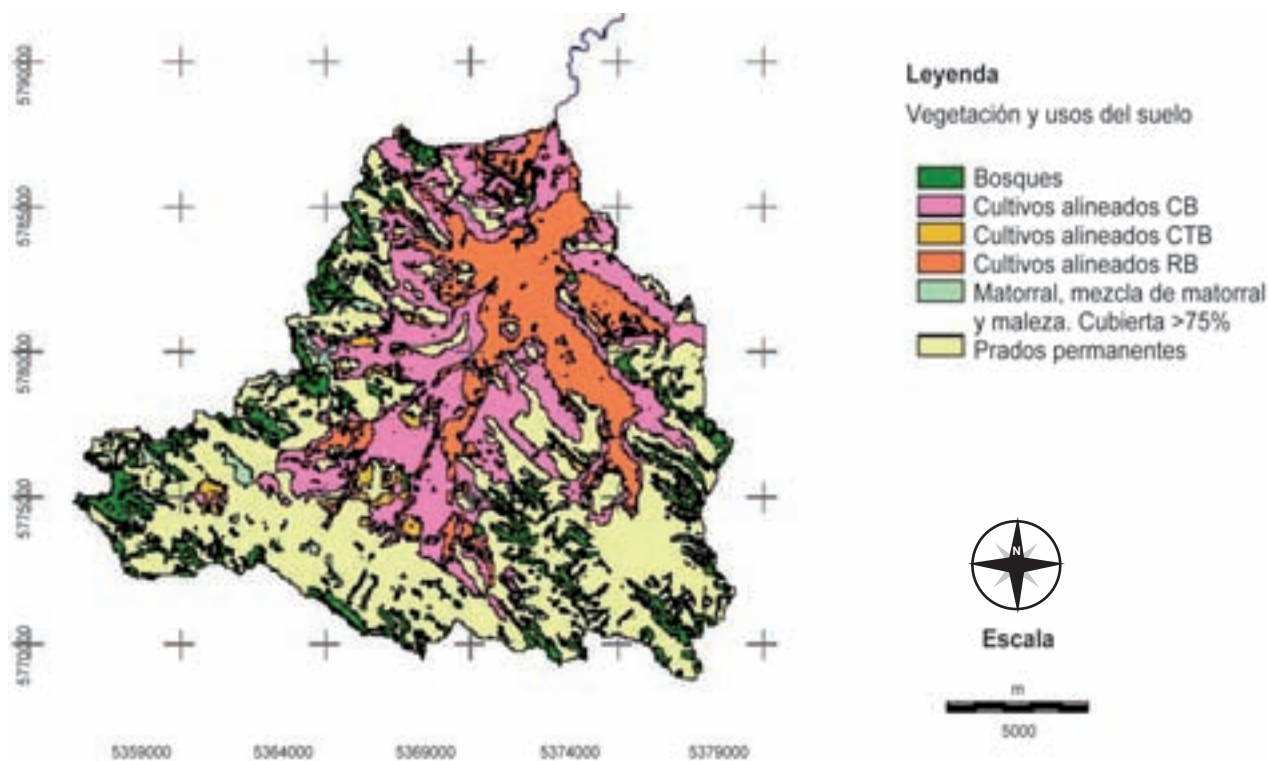


Figura 7. Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto.

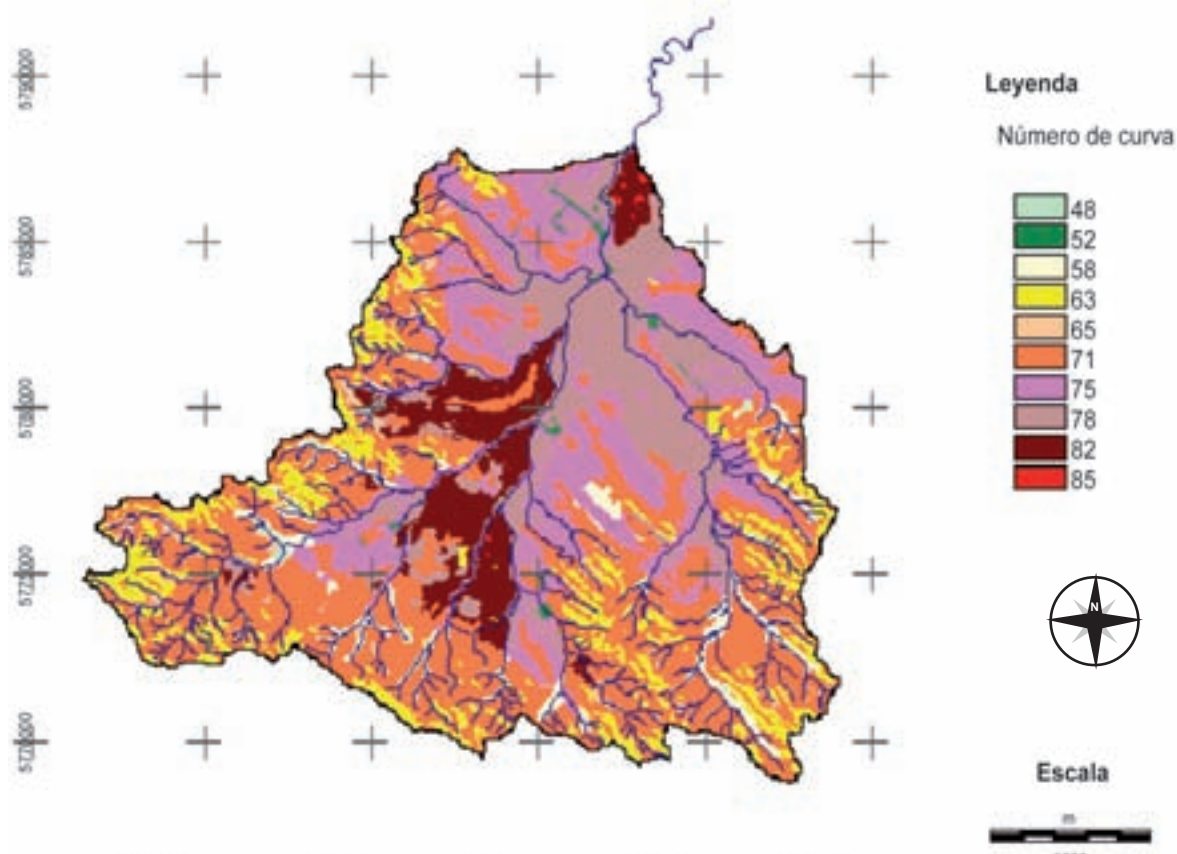


Figura 8. Mapa de número de curva para la condición restaurada.

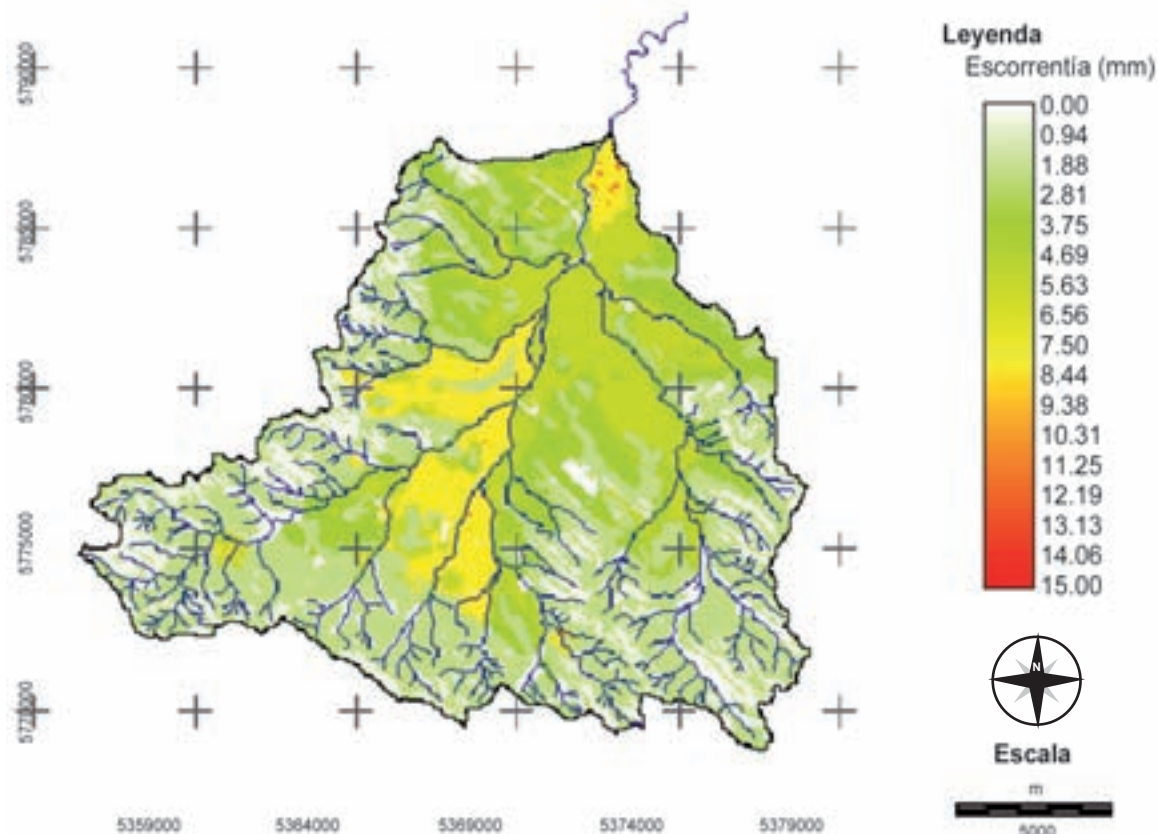


Figura 9. Zonificación de la lámina de escorrentía propuesta.

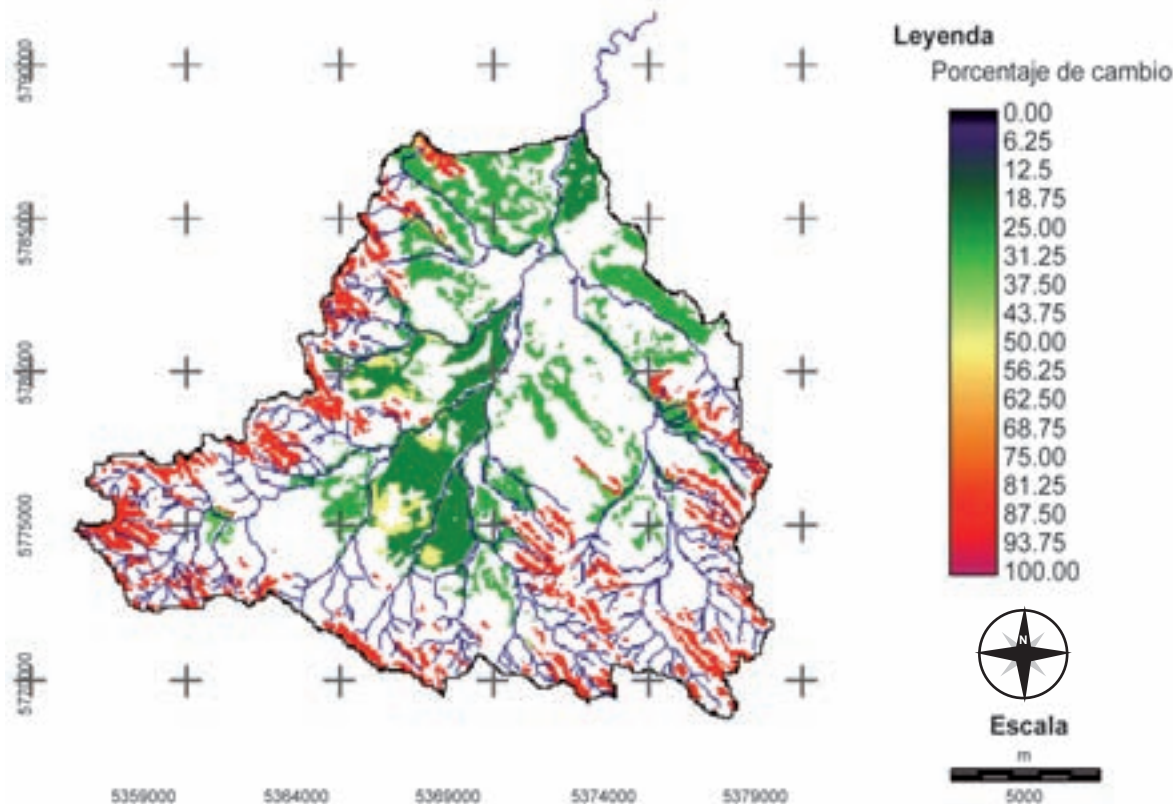


Figura 10. Zonificación de diferencias porcentuales de lámina de escorrentía.

- Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta >75% (MC>75%): Incluye las especies del pajonal serrano.
- Prados permanentes (PP): Constituida por las especies del pastizal serrano.

La vegetación y uso del suelo predominante se encuentra constituida por prados permanentes, abarcando el 54% de la cuenca; los cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa en buenas condiciones hidrológicas constituyen la segunda categoría de importancia con un 36% de ocupación; los cultivos alineados bajo labranza conservacionista son una práctica poco difundida, constituyendo el 6% de la superficie total; el Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% ocupa el 3% del área total de la cuenca; los Bosques en buenas condiciones representan sólo el 1% de la cobertura presente en la cuenca (figura 3).

La reclasificación del mapa de complejos de suelos según los grupos hidrológicos asignados representa el mapa de GH en la cuenca. Se identificaron dos grupos hidrológicos: el Grupo B (suelos en su mayor parte arenosos, poco profundos) y el Grupo C (suelos con abundante cantidad de arcilla y coloides). El grupo B constituye el 36% de la superficie de la cuenca, siendo el 64% restante correspondiente al grupo C (figura 4).

El mapa de número de curva de la cuenca (figura 5) fue obtenido automáticamente con el modelo GeoQ, generando 10 valores de NC, con un mínimo de 48 y un máximo de 85. Los valores con mayor grado de ocupación fueron de 71 y 78 con un 51,3 y 27,4%, respectivamente, seguidos por 85 con un 8,1%.

Los resultados alcanzados con GeoQ, para la tormenta modelada ocuparon el 91,9% para láminas de escorrentía leves (menores a 10mm). Las láminas de escorrentía medias (entre 10 y 20mm) ocuparon una superficie del 8,1% (figura 6).

La figura 7 representa el mapa de vegetación y usos del suelo asignados según la tabla 1. El nuevo escenario propuesto modificó la ocupación territorial.

Los prados permanentes (PP) siguen constituyendo la categoría de mayor importancia, a pesar de haber disminuido su ocupación, pasando de un 54% para la condición actual a un 45% para la situación propuesta.

Los cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa (RB) en buenas condiciones hidrológicas, constituían el 36% de la cuenca. La nueva situación restringe este uso al 15% desplazado por cultivos alineados bajo labranza conservacionista (CB), la cual ocupaba sólo el 6% de la cuenca, adquiriendo un valor de 25% para la condición restaurada.

Los Bosques (BB) en buenas condiciones representan el 1% de la cobertura presente en la cuenca, la nueva situación propone aumentar su superficie hasta alcanzar un 10% del área total de la cuenca.

Por otro lado la propuesta plantea la utilización de cultivo en terrazas (CTB), la cual no se encuentra presente en la

actualidad, abarcando una superficie relativamente pequeña con un 2% de ocupación.

El Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% (MC >75%) no varió respecto de la situación actual, ocupando el 3% del área total de la cuenca.

El mapa de número de curva de la cuenca para la condición restaurada (figura 8) fue obtenido automáticamente a través de GeoQ. Los NC obtenidos difieren en su distribución espacial y el grado de ocupación territorial con respecto a la condición actual.

Para la tormenta modelada, el GeoQ expresó que el 99,9% de la cuenca genera láminas de escorrentía leves (menor a 10mm) implicando un aumento del 8% de superficie respecto a la condición actual. El rango entre 10 y 20mm representa láminas de escorrentía medias, ocupando la superficie restante de la cuenca un 0,1% (figura 9).

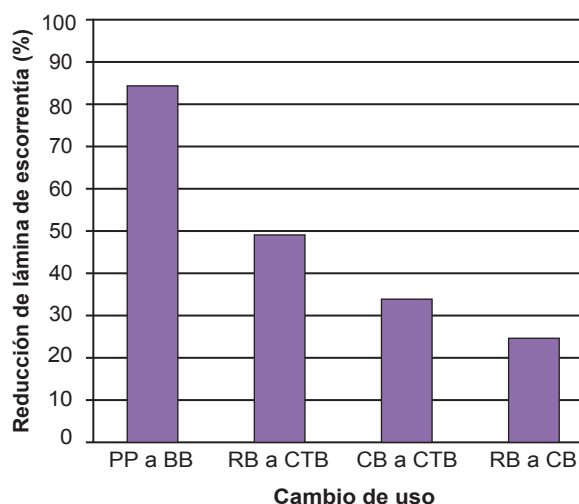
La comparación de la zonificación del escurrimiento se realizó a través de la obtención de un mapa que representa las diferencias porcentuales entre lámina escurrida en la condición actual, y la condición propuesta para la tormenta seleccionada.

Para una tormenta con un tiempo de retorno de 1 año, la distribución espacial de las diferencias porcentuales se muestra en la figura 10, que se describen a continuación para cada cambio de uso del suelo, a través de una escala cuantitativa de colores, indicando con rojo las áreas de mayor variación porcentual y en color blanco las áreas sin cambios.

Los Bosques protectores provenientes de pastizal serrano tuvieron la mayor diferencia porcentual, reduciendo su lámina un 85,1%.

Se redujo un 49,5% la lámina escurrida debido al cambio de cultivos bajo labranza convencional a labranza en terrazas.

El cambio de cultivo en curvas de nivel a labranza en terrazas redujo un 33,4% la lámina de escorrentía.



**Gráfico 1.** Lámina escurrida según el uso del suelo propuesto (mm).

La labranza en curvas de nivel provenientes de labranza convencional obtuvo un 24,1% de diferencia.

Los valores de diferencias porcentuales de lámina escurrida obtenidos por el cambio de uso del suelo para la tormenta se observa en el gráfico 1.

Las mayores diferencias se presentan en el cambio de pastizal serrano a bosques protectores. El uso que posee menor diferencia es el cultivo en curvas de nivel, proveniente de cultivo bajo labranza convencional.

## CONCLUSIONES

La realización del presente trabajo permitió establecer el potencial efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica propuestas, para la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande.

La utilización de SIG permitió establecer medidas de restauración agro-hidrológica, haciendo una evaluación multicriterio de las condiciones presentes en la cuenca, proponiendo medidas coherentes con el tipo de producción actual que tiendan a disminuir la escorrentía superficial. El modelo GeoQ permitió zonificar geoespacialmente la lámina de escorrentía, para la condición actual y para las medidas propuestas, ante un evento de precipitación con un período de retorno de 1 año.

Este estudio permitió valorar que la implantación de especies forestales formando bosques protectores en áreas con altas pendientes, disminuye el escurrimiento superficial con la consecuente regulación del caudal de avenida y la disminución de las pérdidas de suelo. Por otro lado, se incrementa el valor escénico, generando posibles áreas de recreación con un alto potencial de desarrollo de actividades ligadas al agroturismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMEGHINO, F. 1884. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Capítulo 2. Ed. Secretaria de política Ambiental. 19 pp.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw Hill Interamericana S.A., Bogotá, 2000. 584 pp.
- FAO. 1988. Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile. Pp 36.
- FRANGI, J.; BOTTINO, O. 1994. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Pág. 93-133.
- GARCÍA NÁJERA, J. M. 1962. Principios de hidráulica torrencial. Ed. Min. Agric. Madrid. 350 pp.
- GAREN, D.C.; MOORE, D.S. 2007. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. Volume 41, Issue 2, pages 377–388.
- GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E. 2006 Zonificación del número de la curva (CN) en la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande. Coronel Pringles. Tercer congreso de la ciencia cartográfica. 26 al 29 junio de 2006. Buenos Aires. Argentina.
- GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E.; MARLATS, R.M. 2007. Relación precipitación–escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Pág. 21-28 p. Tomo XXXIX. N.º1. ISSN 0370- 4661
- GASPARI, F.J., SENISTERRA, G.E.; DELGADO, M.I.; RODRÍGUEZ VAGARIA, A.M.; BESTEIRO, A.I. 2009. Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. Ed Gaspari. La Plata. 321 pp.
- GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. 1982. Decreto Ley 9867/82. Ley de fomento de la conservación de suelos. (<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-9867.html> verificado: 29 de noviembre de 2010).
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. 945 pp.
- MARK, A.; MAREK, P.E. 2009. Hydraulic Design Manual, by Texas Department of Transportation (TxDOT). Published by the Design Division (DES). ([http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual\\_notice.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm) verificado: 1 de octubre de 2011).
- MINTEGUI AGUIRRE J.A.; LÓPEZ UNZÚ, J. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 308 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDÓ SÁNCHEZ, J.C. 1994. Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos. Ingeniería del Agua. Vol. 1 Num. 2. 114 pp.
- RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.; GASPARI, F. 2010. GeoQ: herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®. GeoFocus (Informes y comentarios), N.º 10, p.11-26. ISSN: 1578-5157.
- SCS. Soil Conservation Service. 1964. Hydrology. Part1. Watershed Planning. Section4. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS National Engineering Handbook. US Department of Agriculture. EEUU. 26 pp.